

## **Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques : retours d'expérience en Guyane française**

**Montaigne W.<sup>1</sup>, DeBon H.<sup>2</sup>, Domenach A.-M.<sup>1</sup>, Roggy J.-C.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Solicaz, 215 rue du Marais, F-97355 Macouria, Guyane

<sup>2</sup> CIRAD, UPR-Hortys., F-34398 Montpellier Cedex 5

<sup>3</sup> INRA, UMR EcoFoG - Campus agronomique, BP 316, F-97387 Kourou Cedex, Guyane

**Correspondance :** william.montaigne@solicaz.fr

### **Résumé**

Les sols sont au cœur des grands enjeux planétaires tels que la sécurité alimentaire et forment une ressource naturelle qu'il faut protéger et utiliser durablement. Afin de maintenir, voire d'améliorer, la fertilité des sols de Guyane déjà naturellement pauvres, des pratiques agro-écologiques, par valorisation d'apport en matières organiques (MO) permettant de stimuler la vie des sols, sont développées dans les systèmes de cultures actuels. Par cette approche de gestion durable, le sol n'est plus considéré comme un simple support mais comme un milieu vivant qui produit et fournit les éléments nutritifs aux cultures.

Dans le cadre du projet Guyafer du RITA, différents types de matières organiques ont été testés (bois raméal fragmenté - BRF, charbon de bois, compost, plantes de couverture) pour en déterminer leur capacité à améliorer la qualité du sol. Cette qualité est appréhendée par l'utilisation de bio-indicateurs d'activités microbiennes du sol liées aux deux grands cycles biochimiques que sont ceux du carbone et de l'azote. Si les différents types de matières organiques amènent à des améliorations de la qualité des sols - la biomasse microbienne active du sol est souvent largement stimulée par l'apport de MO. Cette amélioration peut être très différente en intensité et en durée suivant le type de MO utilisée. Certains de ces apports n'entraînent pas de changement profond de la qualité, changement évalué par les indicateurs de variations de diversité.

**Mots-clés :** Guyane française, Fertilité des sols, Matières organiques, Activités biologiques, Pratiques agro-écologiques

### **Abstract: Soil fertility management by using organic matters: feedback from French Guiana**

Soils are at the heart of major global challenges: food security, quality of groundwater and surface water, air quality, climate change and biodiversity. Soil is a natural resource that must be protected and sustainably used. To maintain or even improve the soil fertility of French Guiana, already naturally poor, agro-ecological processes focusing organic matter in order to stimulate the soil life are developed in the current cropping systems. Through this sustainable management approach, soil is no longer considered as an inert support but also as a living component that produces and provides nutrients to crops.

Various types of organic matter (Rameal Chipped Wood - RCW, charcoal, compost, mulch of cover plants) were tested to determine their impact on the soil, particularly through the use of bio-indicators of soil microbial activities related to the carbon and nitrogen cycles. Every tested organic matters increase soil quality (high stimulation of active microbial biomass). However, different types of organic matters affect differently the soil microbial diversity.

**Keywords:** French Guiana, Soil fertility, Organic matter, Microbiological activities, Integrating agroecological processes

## 1. Introduction

Les sols sont au cœur des grands enjeux planétaires tels que la sécurité alimentaire, la qualité des masses d'eau souterraines et superficielles, la qualité de l'air, le changement climatique ou la biodiversité (un quart des espèces connues sont inféodées au sol). 2015 était l'année internationale des sols. Le « Rapport sur l'Etat des ressources en sols dans le monde » (FAO & ITPS, 2015) réalisé par quelques 200 scientifiques de 60 pays termine sur une conclusion accablante : *« la majorité des ressources en sols du monde sont dans un état passable, mauvais ou très mauvais, et que leurs conditions empirent bien plus souvent qu'elles ne s'améliorent. En particulier, 33% des terres sont modérément ou fortement dégradées à cause de l'érosion, de la salinisation, du compactage, de l'acidification et de la pollution chimique des sols. [...] D'autres pertes de sols productifs compromettraient gravement la production vivrière et la sécurité alimentaire, amplifieraient la volatilité des prix alimentaires, et pourraient plonger des millions de personnes dans la faim et la pauvreté. »* Mais le rapport illustre également comment cette perte de ressources et de fonctions des sols peut être évitée. La solution proposée s'articule autour de la gestion durable des sols.

La Stratégie Nationale de Développement Durable pose les bases d'un mode de développement durable organisé autour d'une économie verte et équitable. Le Gouvernement a adoptée en Conseil des ministres en 2015 « la Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable (SNTEDD) 2015-2020 » qui fixe le nouveau cap en matière de développement durable. Celui-ci fait référence à un développement de nos sociétés que la planète peut supporter sur le long terme : aujourd'hui, nos modèles de croissance ne sont pas tenables au vu des ressources et limites de la planète.

Repenser notre manière de produire, ne signifie pas pour autant régresser en se reportant simplement à des procédés ancestraux, la nécessité d'une agriculture intensive reste de mise face au développement démographique. Mais s'inspirer de pratiques anciennes, reproduire et amplifier ce que la nature réalise (bio-mimétisme : mécanismes naturels) peuvent être autant de voies à développer pour maintenir un niveau de production économiquement et écologiquement satisfaisant. Les solutions sont nombreuses, la plupart du temps peu coûteuses et pouvant se renforcer l'une l'autre selon les sols. Favoriser la couverture végétale permanente des sols, diminuer les tassements, apporter plus de matières organiques, planter des arbres, des haies, varier les cultures dans le temps, combiner les cultures dans la parcelle (ex : agroforesterie), veiller à réduire ou à supprimer les intrants et les biocides, favoriser partout les circuits courts et l'alimentation locale et saisonnière, etc... sont autant de solutions agro-écologiques qui peuvent être mises en place.

Bien que ne constituant en moyenne qu'entre 1% et 5% de la composition d'un sol, la matière organique (MO) a un rôle primordial pour le fonctionnement du sol et de l'écosystème dans sa globalité (FAO, 1989). Elle a une importance dans différents processus écologiques, notamment :

- Structuration du sol : elle a un rôle de ciment entre les différentes fractions minérales du sol, ayant une action directe sur la rétention et la circulation de l'eau et de l'air,
- Réserve d'éléments nutritifs : c'est par les processus biologiques de la vie du sol (décomposition, minéralisation) que la matière organique sera transformée en éléments minéraux assimilables par les cultures,
- Stockage du carbone : Une augmentation relative de 0,4 % par an des stocks de matière organique des sols suffirait à compenser l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre de la planète. Inversement, une diminution relative de 0,4 % doublerait nos émissions (COP21, lancement du projet 4 pour mille).

En favorisant une agriculture de type organique, on ne conçoit alors plus le sol comme un simple support de production, mais comme une entité vivante. Un sol vivant sera à même de fournir des éléments fertilisants nécessaires au bon développement des cultures.

### *1.1 Contexte guyanais*

En Guyane française, le nombre d'exploitations agricoles était proche de 6000 en 2010, dont 75% sont détenues sans titre foncier. Le secteur agricole représente 5% du PIB de la région et 16% de la population active. La Guyane est le seul département français où la SAU et le nombre d'exploitations augmentent chaque année : moins de 24 000 hectares en 2010, plus de 28 000 en 2013 (DAAF, 2015). Cependant la croissance démographique est telle que le secteur agricole ne suffit pas à nourrir la population et induit une forte dépendance aux importations venant de métropole. Le montant des importations de denrées alimentaires augmente d'année en année d'environ 20% (source INSEE 2014).

Dans le contexte de la Guyane, les nécessaires évolutions des agricultures pour minimiser leur impact sur l'environnement tout en répondant au défi des besoins et de la sécurité alimentaire, doivent tenir compte des faiblesses spécifiques à cette région, mais surtout s'appuyer sur tous les atouts qu'elle a à sa disposition.

#### **1.1.1 La qualité médiocre des sols : un handicap pour l'agriculture**

La pauvreté chimique des sols tropicaux, notamment en Guyane, est un problème majeur pour les agriculteurs (Boyer, 1982); ce phénomène se traduit directement par une faible fertilité des sols. Or, ce sont ces mêmes sols qui servent à la fois de support et de réserve en eau et nutriments pour les plantes cultivées. Cette pauvreté est avant tout d'origine naturelle. En effet, le climat tropical humide est caractérisé par une forte pluviométrie et de hautes températures, ce qui favorise l'érosion et le lessivage des éléments nutritifs (Maldague, 2006). De plus, l'activité humaine, notamment agricole, accentue ce phénomène de dégradation. L'exportation des récoltes est d'une part responsable d'une perte de matière organique et d'éléments minéraux. Mais d'autre part, certaines pratiques culturales comme un travail du sol répété, l'abattis-brûlis ou une fertilisation chimique non raisonnée favorisent l'érosion et la perte des nutriments. En seulement quelques années de cultures, un sol forestier relativement riche peut perdre toute fertilité (Moreau, 1983). Dans un tel contexte, il est difficile de produire sans avoir recours à de grandes quantités d'engrais chimiques souvent coûteux car souvent importés depuis la France métropolitaine, et les résultats se révèlent parfois être inefficaces. Il est donc impératif de remédier à l'appauvrissement des sols par des techniques qui sont à la fois respectueuses de l'environnement et durables pour les agriculteurs. S'ajoute à cela la rapide croissance de la population : 213 031 habitants en 2007, 250 377 en 2014, soit plus de 17% d'augmentation en 7 ans (source INSEE 2014). Le défi sera donc de concilier protection de l'environnement fragile et production agricole afin d'assurer la sécurité alimentaire face à cette pression démographique.

#### **1.1.2 Les atouts**

La Guyane est la seule région française où la forêt est source de terres agricoles. Elle possède potentiellement des terres disponibles en grande quantité ce qui lui permet d'envisager une couverture de la consommation locale par la production locale, même pour une population en hausse exponentielle. La Guyane a une forte possibilité de développement sur des terres sans passif (sans contamination d'origine anthropique) qui peuvent lui permettre d'adopter d'une manière beaucoup plus facile que partout ailleurs, une attitude vertueuse par rapport aux enjeux environnementaux et devenir ainsi, une terre modèle de tous les possibles.

L'expérience accumulée dans d'autres pays tropicaux, par exemple en Afrique sub-saharienne, dans le sud-est asiatique et en Amérique latine, montre que la durabilité de l'agriculture dans ces conditions dépend fortement de la récupération de certaines fonctions écosystémiques présents dans le système

sol-plante-climat original (p.ex. distribution de l'eau, biodiversité élevée, apport de litière, rétention et restitution des nutriments en profondeur, complémentarité entre les espèces, protection contre l'érosion, etc.). Parmi ces fonctions, celles dont la pertinence et l'adoptabilité peuvent être les mieux assurées pour les conditions socio-économiques de la Guyane sont liées principalement aux entrées et à la conservation des nutriments et, d'une façon générale, aux restitutions organiques. Différents types d'apports de matières organiques sont possibles :

- Les plantes de couverture semées sur les parcelles avant les cultures de rente, ou en association avec celles-ci, présentent l'avantage de couvrir le sol et donc limiter l'enherbement, de fournir une biomasse importante et d'enrichir en azote le sol avec un cycle relativement court de quelques mois (Damour et al., 2014). Ce sont des végétaux riches en cellulose, eau et azote qui donnent un humus facilement minéralisable et va fournir rapidement des éléments fertilisants notamment de l'azote à la culture associée ou à celle qui lui succède. Par exemple, en Martinique, *Crotalaria spectabilis* apporte en moyenne 3 à 5 t de matière sèche à l'hectare en 2 ½ mois, correspondant à un apport d'azote de 3,3 % de la plante entière soit 100 à 165 kg/N (Fernandes et al., 2014). Outre les apports de matière organique, certaines espèces du genre *Crotalaria* constituent un hôte peu favorable aux nématodes du sol comme *Meloidogyne* spp (Wang et Sipes, 2002) très fréquents sur les cultures maraîchères en zone tropicale.
- Le compostage est un procédé naturel correspondant à la décomposition de déchets organiques (d'origine animale ou végétale) par un processus biologique. En présence d'eau et d'oxygène, les matières organiques vont se transformer sous l'action de micro-organismes (bactéries, champignons). Le compost améliore la structure d'un sol et augmente sa fertilité biologique. Il apporte des éléments nutritifs pour les cultures (e.g. Giusquiani et al., 1995).
- Le bois raméal fragmenté (BRF) est une technique relativement récente en Guyane. Il s'agit d'apporter une épaisseur de 5 à 8 cm d'un broyat grossier de branches d'espèces arborescentes de diamètre inférieur à 7 cm sur le sol avant l'installation de la culture (Lemieux, 2000 ; Marche et Noël, 2006). La biomasse est relativement riche en lignine ; elle évolue progressivement en humus stable et assure la stabilité structurale du sol, la porosité, la perméabilité des horizons humifères mais bloque plus longtemps les nutriments dans les grosses molécules organiques du sol (Roose, 2017). Il améliore la macro-porosité du sol et la capacité de rétention en eau du sol. Un accroissement des minéraux solubles suivants : P, K, Ca, Mg, a aussi été observé sous climat tempéré (Marche et Noël, 2006). Le BRF peut provoquer une faim d'azote par la compétition entre sa minéralisation et les besoins en azote de la culture de rente mise en place (Kervandrat et Clerc, 2012). En Guyane, le BRF utilisé est issu de la végétation souvent abondante autour des parcelles où il sera appliqué (on parle de « tout-venant »).
- Le « biochar » (charbon à usage agricoles issue de matériel végétal) est une technique ancienne dont certaines expérimentations montrent des effets sur la fertilité des sols plus ou moins accentuées (Glaser et al., 2002 ; Yang Ding et al., 2016). Les propriétés physiques du biochar améliorent la rétention en eau du sol, la rétention des éléments nutritifs ainsi que leur disponibilité par sa porosité et ses capacités d'agrégation. Il a une grande capacité d'échange et de surface d'échanges. Il pourrait aussi accroître l'abondance des micro-organismes du sol (Yang Ding et al., 2016). Dans certaines régions amazoniennes des terres noires hyper-fertiles sont parfois localisées. Ces *terra-preta*, d'origine amérindienne, datent de plusieurs centaines d'années. Elles sont constituées de charbon mélangé à des matières organiques qui peuvent être de différentes origines (Glaser et al., 2011). Cette forte amélioration de la qualité des sols peut donc se maintenir sur du long terme grâce à l'utilisation de charbon dont un seul apport suffirait.

Le but des expérimentations menées en Guyane est de caractériser l'impact des amendements organiques disponibles sur le territoire sur la fertilité des sols dans un but d'orienter l'agriculture vers des pratiques agro-écologiques durables et respectueuses de l'environnement.

## 2. Matériel et méthodes

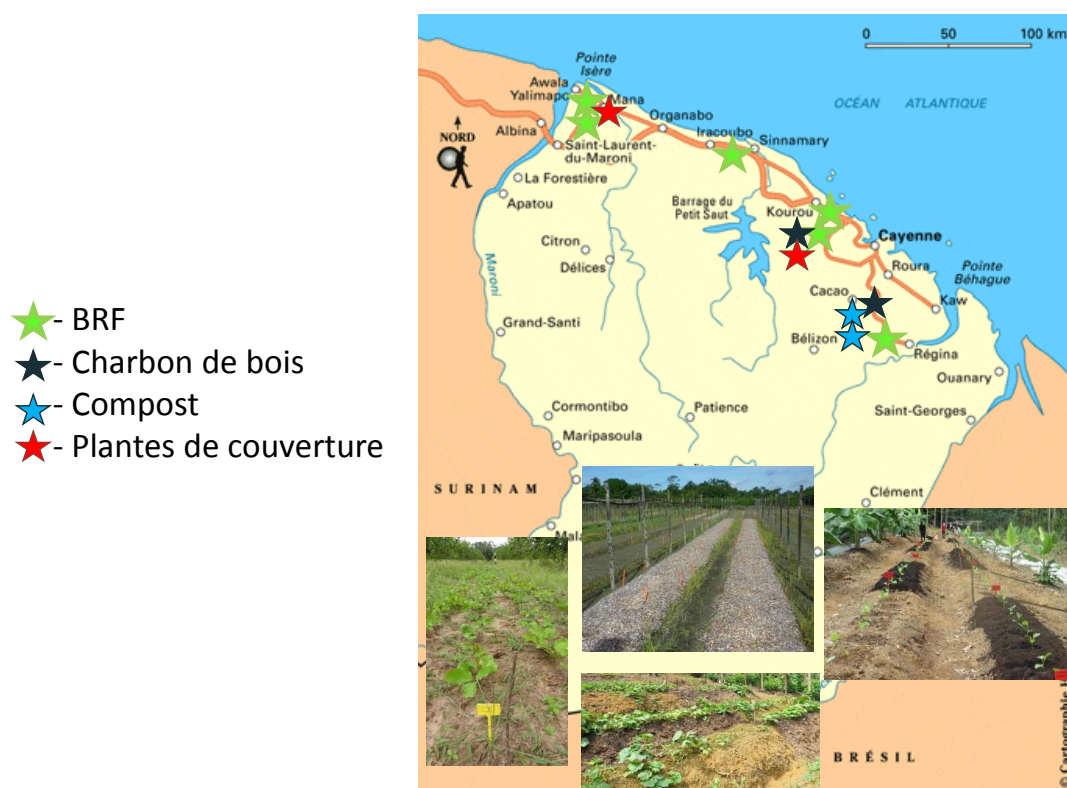
Les amendements organiques testés sont le compost, le biochar, le bois raméal fragmenté – BRF ainsi que les plantes de couverture *Crotalaria spectabilis* et *Canavalia ensiformis*.

Ces pratiques ont été développées au sein de systèmes de culture actuels (maraichage et vergers). Les différentes données sont issues du projet Guyafer (Gestion de la fertilité organique en Guyane) du programme RITA (Réseau d'innovation et de transfert agricole » dans les DOM) ayant débuté en 2013.

### 2.1 Expérimentations

12 essais expérimentaux ont été mis en place chez des producteurs de différentes localités (Figure 1). Sur chaque essai, au moins une modalité (un amendement organique) a été testée et comparée à des zones témoins. Seul l'ajout de l'amendement organique différencie l'itinéraire technique des zones testées par rapport aux zones témoins. Les dispositifs expérimentaux contenaient 3 répétitions de chaque modalité. Les cultures associées étaient au choix de l'agriculteur. Pour plus d'informations sur les expérimentations mises en place, consulter le rapport du projet (RITA Guyafer, 2015).

L'impact des pratiques d'apport organique sur la qualité des sols a été évalué à partir de mesures biologiques, qui, très sensibles à tout changement, peuvent détecter toutes variations à l'échelle des cycles de culture (quelques mois).



**Figure 1** : Localisation des différents dispositifs en Guyane française.

## 2.2 Bio-indicateurs de la qualité du sols

Les fonctions microbiologiques du sol représentent les valeurs les plus intégratives de la connaissance de la qualité du sol (un sol montrera une bonne activité lorsque que son environnement lui est favorable ; bonnes conditions physico-chimiques). En effet, des travaux récents montrent que les processus microbiens du sol sont les bio-indicateurs les plus pertinents de la qualité des sols et de leur fertilité (Schimann et al., 2012 ; Ritz et al., 2009 ; Bastida et al., 2008). De plus, par la rapidité d'adaptation et de réaction aux changements, les mesures des capacités métaboliques des micro-organismes peuvent rendre compte, avant tout autre indicateur, tel que celui de la productivité végétale ou des analyses physico-chimiques, des modifications de l'état d'un sol (Schloter et al., 2003).

Les fonctions microbiennes choisies sont la respiration (dégagement de  $\text{CO}_2$ ) et la dénitrification (dégagement de  $\text{N}_2\text{O}$ ) car elles représentent des processus importants dans le fonctionnement des écosystèmes (participation à l'équilibre de carbone ou d'azote entre la biosphère et l'atmosphère, émission de gaz à effet de serre...) et sont réalisées par des communautés abondantes et diversifiées, donc représentatives du système sol.

### **2.2.1 La respiration potentielle (SIR)**

La respiration microbienne du sol concerne l'ensemble des micro-organismes dans leur diversité et abondance. Elle est mesurée en dégagement de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{g C-CO}_2 / \text{g sol/h}$ ). Cette mesure est importante car elle renseigne sur la capacité de la communauté microbienne hétérotrophe du sol à décomposer la matière organique. Elle peut aussi être considérée comme un indicateur de la biomasse microbienne totale active du sol et donc de sa capacité biotique. Cet indicateur est pertinent pour décrire le fonctionnement global d'un sol (Nannipieri et al., 2003).

### **2.2.2 La dénitrification potentielle (DEA)**

La dénitrification est un processus au cours duquel une communauté de bactéries transforme le nitrate en gaz azoté qui est libéré dans l'atmosphère. Elle est mesurée via un dégagement de  $\text{N}_2\text{O}$  ( $\mu\text{g N-N}_2\text{O/g sol/h}$ ). Cette étape se déroule principalement lorsque le sol est saturé d'eau et concourt à une perte d'azote minéral dans les sols, principalement en situation d'excès d'eau. Seuls environ 10% des microorganismes sont capables de dénitrifier, mais appartiennent à un grand groupe de taxons. Ils sont aussi capables de réaliser d'autres fonctions (généralistes). Cette mesure permet de rendre compte de la diversité microbienne des sols (voir ci-dessous DEA/SIR).

### **2.2.3 Le ratio dénitrification / respiration (DEA/SIR)**

Ce ratio renseigne du pourcentage de la communauté dénitrifiante (taxons divers, faible abondance) dans le sol sur la diversité microbienne hétérotrophe totale (respiration). Il est ainsi un indicateur de la diversité microbienne des sols. Cette mesure est importante car une grande diversité sous-entend la réalisation d'un grand nombre de fonctions et une meilleure résistance face à des perturbations environnementales. De plus, cette communauté dénitrifiante, capable de respirer l'oxygène, est entièrement intégrée dans la communauté microbienne totale. A ce titre, si les conditions environnementales font varier la respiration, la dénitrification devrait varier dans les mêmes proportions mais ne pas changer le ratio DEA/SIR. Une variation de ce ratio marque que les nouvelles conditions environnementales ont provoqué un changement de la structuration de la communauté microbienne.

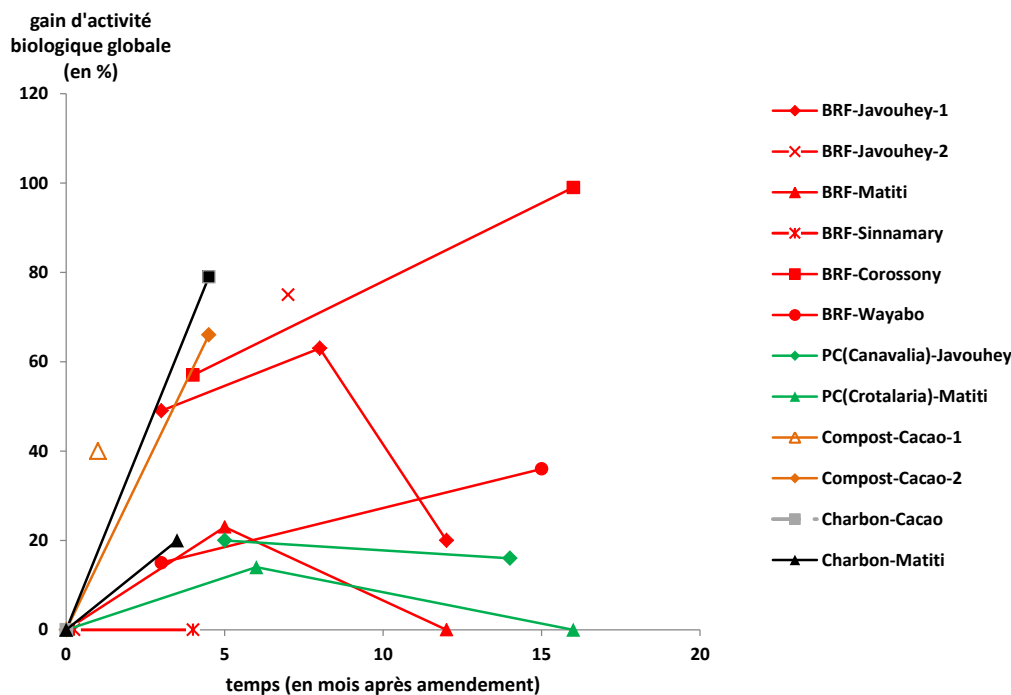
Les différentes activités ont été mesurées par chromatographie en phase gazeuse (Varian CP4900). Les mesures sont réalisées sur les 10 premiers centimètres du sol, la couche la plus fertile où ont lieu les principaux échanges entre sol et culture. Les analyses biologiques ont généralement été réalisées à différents stades des expérimentations : des mesures initiales ( $t_0$ ) lors de la mise en place du dispositif puis à différentes périodes de l'expérimentation. 30 échantillons ont été analysés par modalité et par chaque période de mesures. Les comparaisons entre les modalités ont été testées par des outils statistiques appropriés.

Le niveau des activités biologiques peuvent fortement dépendre des saisons et des types de sols. Il est donc difficilement envisageable d'étudier l'évolution de ces activités dans le temps car dépendante des périodes d'échantillonnage, ainsi que de procéder directement à des comparaisons inter-sites sur les valeurs d'activités. Pour suivre l'évolution des impacts, nous avons choisi de nous intéresser aux pourcentages de gain d'activité entre la modalité traitée (amendement organique) par rapport à la modalité témoin à chaque période pour chaque dispositif expérimental. Cela permet alors de suivre dans le temps, le niveau d'amélioration de la fertilité des sols par l'apport de matière organique.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1 Une amélioration globale de la fertilité du sol pour tous les amendements testés

Tous les amendements organiques testés ont, à un moment donné, amélioré significativement la qualité biologique globale des sols (estimée par les mesures de respiration, Figure 2). Cette augmentation de biomasse microbienne active du sol va stimuler la minéralisation de la matière organique et permettre d'accroître la biodisponibilité des nutriments pour les cultures. Nous avons remarqué que les activités biologiques pouvaient être jusqu'à deux fois plus importantes sous l'amendement par rapport à une zone témoin (+99 % d'augmentation de l'activité respiratoire 15 mois après la pause de BRF sur le site de Corossony, Figure 2).



**Figure 2 :** Gain d'activité biologique global significatif (ANOVA,  $P < 0.05$ ) en pourcentage entre la modalité amendement organique et la modalité témoin sans amendements organiques. En rouge : les essais BRF, en marron : les essais compost, en noir : les essais charbon, en vert : les essais plantes de couvertures (PC). Le nom qui suit le type de matière organique est celui de la localisation de l'expérimentation (plusieurs expérimentations peuvent être menées dans une même localité). 0% de gain d'activité signifie des résultats non statistiquement significatifs.

### ***3.2 Des différences entre les types d'amendements sur l'amélioration globale de la qualité des sols***

Il est difficile de comparer les différents traitements entre eux car les itinéraires des essais menés ne sont pas les mêmes : différentes conditions pédo-climatiques, différents itinéraires techniques (traitements des parcelles), installations à des périodes/saisons différentes. Malgré ces différences, des grandes tendances peuvent être discutées. Les différents apports de matière organique ne vont pas agir de la même façon sur la fertilité des sols.

#### **3.2.1 Une amélioration de la fertilité plus ou moins rapide selon les amendements**

Certains amendements vont améliorer très rapidement la fertilité des sols. C'est le cas du compost qui au bout de seulement quelques jours va entraîner un meilleur fonctionnement biologique des sols. Ceci peut s'expliquer par le fait que cet amendement est composé de matière organique en décomposition où des micro-organismes sont déjà en activité. En plus d'apporter de la matière organique qui stimulera l'activité biologique des sols, on peut supposer un transfert des micro-organismes déjà actifs dans le compost vers le sol.

#### **3.2.2 Une amélioration plus ou moins limitée dans le temps**

Les résultats sur BRF et plantes de couverture montrent que l'amélioration de la fertilité par apport de matière organique est tangible mais souvent temporaire en se limitant à sa durée de décomposition (baisse du pourcentage de gain d'activité entre les zones BRF et les zones témoins à partir d'une certaine période, Figure 2). Mais, selon les sites et la qualité du BRF (traduit par son C/N : plus la valeur du ratio est grande, plus sa décomposition est lente – pour une même quantité ajoutée de 8 cm d'épaisseur), son action peut durer jusqu'à plus d'un an et demi (expérimentation de Corossony et Wayabo). Pour maintenir la fertilité du sol, il faudrait donc ajouter une nouvelle couche de BRF dès que la couche précédente est dégradée. L'essai à Sinnamary montre un résultat intéressant. Il n'y a pas de différence de fonctionnement du sol entre la modalité BRF et la modalité témoin. L'agriculteur, utilise du BRF depuis de nombreuses années sur sa parcelle (y compris sur la zone témoin de l'étude, avant la mise en place du dispositif). Les apports répétitifs de BRF peuvent donc avoir un impact positif sur la fertilité des sols à long terme. Le fait d'omettre du BRF sur un an n'a pas entraîné de perte de la fertilité.

On suppose que l'effet du compost doit également être temporaire, et même d'une durée encore plus courte que pour les autres amendements car la matière organique apportée est déjà en cours de décomposition. Les essais n'ont pas été engagés sur d'assez longues périodes de temps pour pouvoir conclure.

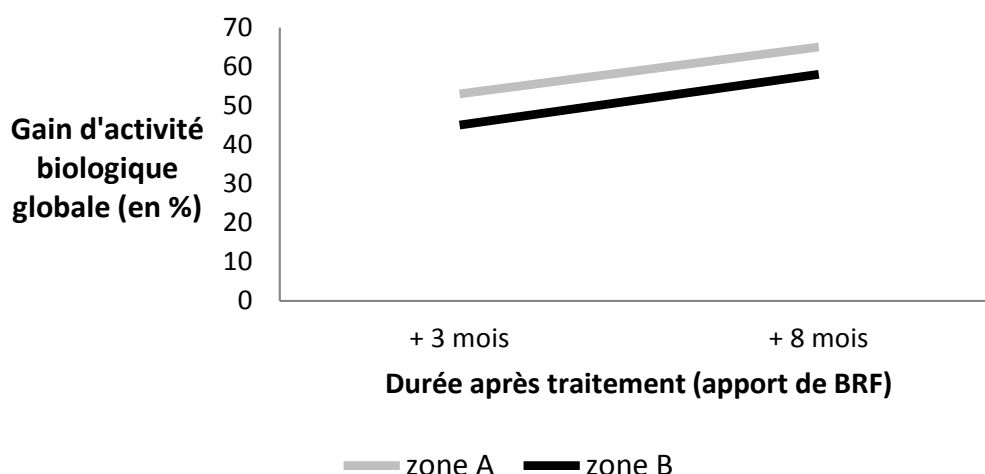
#### **3.2.3 Une amélioration plus ou moins importante selon les types de sols**

Les 6 expérimentations réalisées avec le BRF permettent de montrer qu'il peut y avoir de grandes variations de gain de fertilité pour un amendement donné selon les sites étudiés. Même si nous observons pour chaque essai une amélioration du fonctionnement global des sols, son intensité diffère selon les sites étudiés. Une même zone d'expérimentation BRF à Javouhey a montré une forte hétérogénéité des sols. Ainsi, nous avons pu étudier plus précisément l'impact de la qualité des sols sur les gains de fertilité. Les résultats ont montré qu'avec le même traitement, c'est le sol de meilleure qualité (zone A, sol moins sableux, meilleure teneur en matière organique du sol) qui est le plus amélioré par l'amendement BRF (Tableau 1, Figure 3). Ce sol, qui a un pouvoir de rétention plus important (taux d'argile), peut le plus efficacement retenir la matière organique et les éléments minéraux formés à partir du BRF par les micro-organismes.



**Tableau 1** : Caractéristiques physico-chimiques de sols sur 2 zones différenciées au sein d'un même dispositif (expérimentation BRF sur Javouhey, Guyane française)

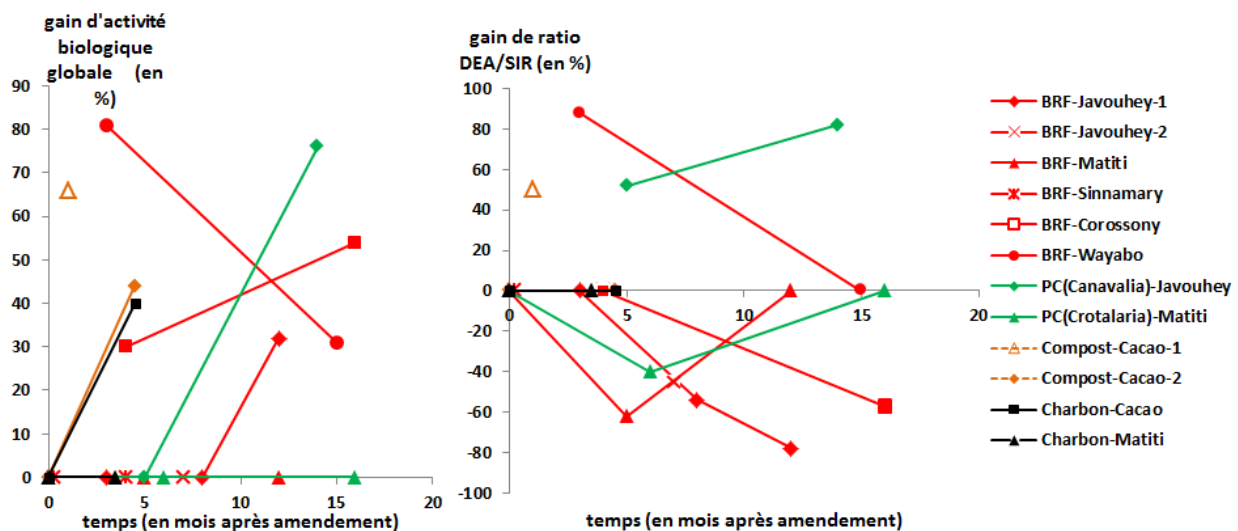
	granulométrie (%)			teneur en matière organique (%)	N total (%)	pH
	argiles	limons	sables			
zone A	14,6	48,9	34	2,4	0,1	7,4
zone B	7,1	32,9	58	1,9	0,07	7,5

**Figure 3** : Gain d'activité biologique global significatif (ANOVA,  $P < 0.05$ ) en pourcentage entre la modalité BRF et la modalité témoin sur 2 zones du dispositif présentant des conditions physico-chimiques de sol différentes.

### **3.2.4 Une amélioration produite par un changement superficiel ou en profondeur de la qualité des sols ?**

Si la respiration des sols est un élément indispensable à prendre en compte (indicateur de la biomasse microbienne active des sols, et ainsi son fonctionnement global), une autre mesure intéressante est l'activité dénitrifiante qui en caractérise la diversité microbienne (Schimann et al., 2012).

Si les amendements étudiés ont tous un impact positif sur la biomasse microbienne, ils ont une action très variable sur la diversité et la structure des communautés microbiennes (Figure 4). Cette diversité microbienne tend à améliorer la stabilité du sol car elle renforce la capacité de ce sol à réaliser toutes ses fonctions et elle multiplie les possibilités de leur redondance (Schloter et al., 2003). Le sol pourra mieux faire face aux perturbations anthropiques et environnementales et être alors exploité pendant plus longtemps. La dénitrification est un bon indicateur de la diversité microbienne car les bactéries dénitrifiantes qui représentent seulement autour de 10% des microorganismes, sont très diversifiées et appartiennent à un grand nombre de taxons qui sont capables d'assurer la plupart des grandes fonctions du sol. Ainsi, une stimulation de la dénitrification proportionnellement plus importante que celle de la respiration (DEA/SIR) reflète une amélioration de la diversité bactérienne des sols.



**Figure 4** : Gain d'activité dénitrifiante significatif (ANOVA,  $P < 0.05$ ) en pourcentage (à gauche) et gain de ratio DEA/SIR significatif (en pourcentage, à droite) entre la modalité amendement organique et la modalité témoin sans amendements organiques. En rouge : les essais BRF, en marron : les essais compost, en noir : les essais charbon, en vert : les essais plantes de couvertures. 0% de gain d'activité signifie des résultats non statistiquement significatifs.

Le sol traité avec le BRF a généralement gardé une activité dénitrifiante stable ou légèrement supérieure par rapport aux zones non-traitées (sauf sur le site de Wayabo et de Corossoy), pendant que l'activité respiratoire augmentait, entraînant une baisse du ratio DEA/SIR (Figure 4). L'interprétation de ces résultats est que la biomasse microbienne a augmenté sans pour autant augmenter la quantité de bactéries dénitrifiantes. Des micro-organismes autres que les bactéries se sont alors développés. L'ajout en grande quantité de lignine et de cellulose, composants majoritaires du BRF, a favorisé les décomposeurs que l'on retrouve surtout dans le règne des champignons. La décomposition de la matière organique permettant la transformation de composés complexes comme la cellulose et la lignine en composés plus simples, est une étape essentielle avant la minéralisation qui elle, est le fait du monde bactérien. Cette minéralisation est la transformation ultime permettant de fournir aux plantes les éléments minéraux nécessaires à leur nutrition. L'augmentation de la microflore fongique est éphémère et dure le temps nécessaire à la décomposition du BRF.

Le compost et la plante de service *Canavalia ensiformis* ont stimulé l'activité dénitrifiante. Ces traitements semblent donc favoriser la diversité bactérienne. Le résultat le plus probant a été obtenu avec *Canavalia*. Cette plante utilisée comme plante de couverture a pratiquement provoqué un doublement du ratio DEA/SIR marquant, une amélioration de la diversité bactérienne du sol sur le long terme (Figure 4). L'effet inverse a été observé sur l'autre plante de service testée, *Crotalaria spectabilis*. Cette dernière n'entraîne pas d'augmentation de la dénitrification, alors que la biomasse microbienne augmente. De par la présence d'alcaloïdes dans ses tissus, les crotalaires sont connues pour avoir des propriétés nématocides. Il est possible que ces composés aient également un rôle bactéricide pouvant avoir un impact sur la communauté dénitrifiante. Si cette hypothèse se confirme, l'utilisation de crotalaires pourrait être intéressante dans la lutte contre le flétrissement bactérien, maladie due à une bactérie pathogène dénitrifiante (*Ralstonia*), très présent en Guyane.

Enfin, l'utilisation de charbon a permis une augmentation de la biomasse microbienne active sans entraîner un changement de structure des communautés microbiennes. Contrairement aux autres amendements, le charbon n'apporte pas de matière organique ni aucun élément nutritif au système. L'amélioration obtenue vient de sa structure poreuse permettant de retenir l'eau, la matière organique déjà disponible dans le sol et les éléments minéraux. Il constitue alors une niche favorable au

développement des micro-organismes. Ses propriétés sont d'autant plus bénéfiques sur des sols sableux. Associé avec la matière organique, source d'éléments nutritifs, il va permettre de limiter les pertes par lessivage fortifiant ainsi l'impact de l'apport de matière organique.

## Conclusion

Les amendements organiques testés ont montré des améliorations significatives sur la fertilité biologique des sols, en particulier en stimulant la biomasse microbienne. Toutefois, ces impacts diffèrent selon les types de matières organiques. Ils peuvent être limités dans le temps et peuvent dépendre des conditions pédo-climatiques. La prochaine programmation RITA vise à étudier les associations de différents types de matières organiques pour en améliorer leurs actions. Par exemple, l'association du charbon avec de la matière organique semble très prometteuse à la vue des impacts des *terra preta* (zones localisées extrêmement et durablement fertiles d'origine amérindienne) recensées en Guyane. Un autre exemple visera à associer le BRF avec une autre matière organique plus riche en azote (compost ou plantes fixatrices d'azote) pour palier au phénomène de faim d'azote. Des données sur l'amélioration de fertilité chimique des sols seront également acquises dans le but de préconiser des plans de fumure : quels éléments nutritifs sont apportés par les différents types de matières organiques exogènes, en quelle quantité, à quel moment ?

## Remerciements

Le projet Guyafer du RITA, en collaboration avec l'INRA, a bénéficié de financement du FEADER, de la Collectivité Territoriale de Guyane et de l'ODEADOM. Les différents groupements agricoles, organisations professionnelles et les agriculteurs ayant participé à la mise en place et au suivi des dispositifs sont grandement remerciés.

## Références bibliographiques

- Bastida F., Zsolnay A., Hernandez T., Garcia C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171.
- Boyer J., 1982. Les ferralitiques : facteurs de fertilité et utilisation des sols. Initiation – documentations techniques n° 52, éditions ORSTOM, Paris, 384 p.
- Diacono M., Montemurro F., 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30:2, 401-422.
- Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de le Forêt, 2015. Agreste Guyane. Memento Edition 2015, 28p.
- Gamour G., Dorel M., Toc Hoa Quoc, Meynard C., Risede J.M., 2014. A trait based characterization of coverplants to assess their potential to provide a set of ecological services in banana cropping systems. *European Journal of Agronomy* 52, 218-228.
- Glaser B., Lehmann J., Zech W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils* 35, 219–230.
- Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W., 2011. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37.
- Giusquiani P.L., Pagliai M., Gigliotti G., Businelli D., Benetti A., 1995. Urban Waste Compost: Effects on Physical, Chemical, and Biochemical Soil Properties. *Journal of Environmental Quality*. 24:175-182
- FAO, 1989. Sustainable Agricultural Production: Implication for International Agricultural Research. Technical Advisory Committee, CGIAR. FAO Research and Technical Paper n° 4, Rome, Italy.
- FAO and ITPS, 2015. Etat des ressources sols dans le monde. Résumé technique, Rome, Italy.

- Fernandes P., Minatchi S., Asensio R., Hilaire M., 2014. Fiche technique *Crotalaria spectabilis* cv. Comun. RITA Martinique, CIRAD, Chambre d'agriculture de la Martinique, 2 p.
- Kervandrat A., Clerc F., 2012. 5 ans d'essai - mulch en maraichage en Savoie. ADABio Echo-MO n° 98, novembre-décembre 2012.
- Lemieux G., 2000. Tentative d'évaluation de la technologie BRF pour des fins maraîchères, Université Laval, Québec.
- Maldague M., 2006. Approche systémique du concept de Forêt modèle. Académie nationale des sciences du développement de la République Démocratique du Congo 7, 43-87.
- Marche C., Noel B., 2006. Mise en oeuvre de la technique du Bois Raméal Fragmenté (BRF) en agriculture wallonne. Centre des Technologies Agronomiques Communauté Française, Strée, Belgique, 168 p.
- Moreau R., 1983. Evolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière et préforestière. Cahiers ORSTOM, Pédologie, Volume XXI, n°1, 311-326.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., 2003. Microbial diversity and soil functions. European Journal of Soil Science 54, 655-670.
- RITA-Guyafer, 2015. Rapport de fin de projet Guyafer. Gestion de la fertilité : amélioration participative de la fertilité des sols guyanais. Vers une agriculture durable à haut débit. 2013-2015. [http://www.ecofog.gf/giec/telechgmt\\_big\\_fichier/11686-Solicaz\\_INRA-2015-GUYAFER\\_Gestion\\_de\\_la\\_fertilit%C3%A9\\_Rapport\\_Final\\_Axe3\\_RITA.pdf](http://www.ecofog.gf/giec/telechgmt_big_fichier/11686-Solicaz_INRA-2015-GUYAFER_Gestion_de_la_fertilit%C3%A9_Rapport_Final_Axe3_RITA.pdf)
- Ritz K., Black H.I.J., Campbell C.D., Harris J.A., Wood C., 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. Ecological indicators 9, 1212-1221.
- Roose E., 2017 Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens. Contribution à l'agroécologie. IRD Editions, Marseille France, 711 p.
- Schimann H., Petitjean C., Guitet S., Reis T., Domenach A.M., Roggy J.C., 2012. Microbial bioindicators of soil functioning after disturbance: The case of gold mining in tropical rainforests of French Guiana. Ecological Indicators 20, 34-41.
- Schlöter M., Dilly O., Munch J., 2003. Indicators for evaluating soil quality. Agriculture, Ecosystems & Environment 98, 255-262.
- Wang K.H., Sipes B.S., 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. Nematropica 32, 35-57.
- Yang D., Yunguo L., Shaobo L., Zhongwu L., Xiaofei T., Xixian H., Guangming Z., Lu Z., Bohong Z., 2016. Biochar to improve soil fertility. A review Agronomy for Sustainable Development. 36:36.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL).